

マルチうず電流探傷プローブによる非破壊検査システム

山田 外史, Chomsuwan Komkrit

自然計測応用研究センター 人間計測制御研究部門

1. はじめに

本研究では、非接触で検査速度が速い、並びに高温の試験体の検査も可能であるという利点を有するうず電流探傷試験（ECT：Eddy Current testing）を用いて、ステンレス鋼製造ラインにて製造中に生じる微小キズをターゲットとする検査装置の開発を目的とする。ステンレス鋼熱間圧延においては、検査対象物は秒速数メートルの速さで動くため、プローブを複数回往復させるラスタスキャンによる探傷は不可能となり、動く検査対象物に対してその表面を一度で走査しなければならない。また検査対象物は 800 °C から 900 °C の高温であることから、冷却のために対象物とプローブの距離であるリフトオフ高さをある程度確保する必要がある。以上を背景に空間的分解能の向上を考慮し、素子サイズが極めて小さいスピンバルブ形巨大磁気抵抗(SV-GMR：Spin Valve - Giant Magneto Resistance)センサを検出部として複数個用いた、かつ高温場での使用を考慮したマルチ ECT プローブを実現し、丸棒状ステンレス鋼を対象としたうず電流探傷の検討を行った。

2. 丸棒状ステンレス用マルチセンサプローブ

2.1 マルチセンサプローブの構成

直径 16 mm の丸棒ステンレス鋼の軸方向に生じるきず検出を目的としたプローブの構成を Fig. 1 に示す。4 個の SV-GMR センサをブリッジ構成とした素子（以下センサと称す）を 36 個並列に結線し、周方向に 2.3 mm 間隔で配置、また検査対象物の貫通励磁コイル 2 個よりプローブを構成する。このときセンサの磁界感度方向を接線方向にし、マルチプレクサにてセンサ出力の切り替えを行うことにより、見かけ上周方向の走査が瞬時に可能となる。また実際の検査では対象物が高温であるため、冷却を考慮してリフトオフ高さが 5 mm になるようにプローブの内径を設定した。

2.2 マルチセンサプローブの構成

直径 16 mm の丸棒ステンレス鋼(SUS303)にて放電加工による深さ 0.3, 0.65 mm, 軸方向長さ 30 mm のきず、および正常な部分の検出を行った。2 個の励磁コイルは互いに逆相になるように直列結線し、励磁周波数 $f = 100$ kHz とした。ここで正常な部分では対象物に発生するうず電流が周方向のみに流れるのに対し、軸方向にキズがある場合は Fig. 2 に示すようにこれに平行して流れる。このうず電流から発生する磁束をセンサによって検出し、各センサの出力電圧からキズ検出を行う。

3. キズ検出の実験結果

3.1 軸の偏芯によるオフセット電圧の抑制

センサのマルチ化により高速の検査等が可能になるが、一方で、(1) センサの特性のばらつき (2) マルチプローブのアライメントによるばらつき、(3) 検査対象と各センサの位置のばらつき、(4) 素子環境のばらつき、さらには (5) 測定系をパラレルとするか、シリアルとするか 等さまざまな問題が新た

に発生する。ここでは、(3)項目に関して、丸棒の軸偏芯の基づくオフセット電圧の抑制について述べる。

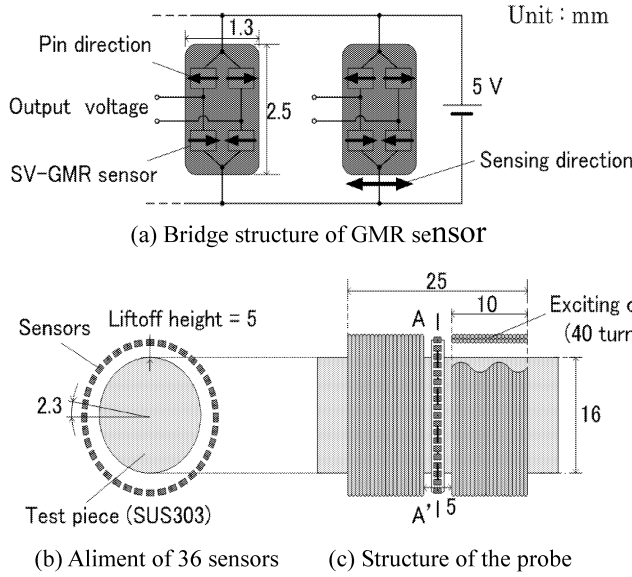
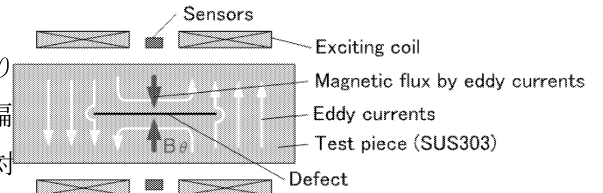


Fig.1. Multi eddy-current probe with GMR magnetic sensors

Fig.2. Detection of defect

検査対象であるステンレス棒の軸が偏芯することにより、磁束の分布が変動することになる。丸棒状ステンレス鋼において偏芯方向との相対的な角度が変化することで感度方向に対する磁束の角度が変化することが生じる。これらを考察すると丸棒ステンレス鋼が偏芯した場合でも磁束は常にステンレス鋼から放射状に分布することが予想されることから、(1)式によってオフセット電圧値変化量 ΔV_{offset} を求めることができる。



$$\Delta V_{offset} = k \left\{ \frac{d}{r_2} \sin \theta_n - \frac{1}{4} \left(\frac{d}{r_2} \right)^2 \sin 2\theta_n \right\} \quad (1)$$

ここで、 r_2 、 d 、 θ_n はそれぞれセンサの形状（半径）、偏芯の量（長さ）、偏芯方向からの回転位置である。この式は、偏芯による 360 度配置されたセンサからのオフセット電圧は、 $\sin \theta_n$ 、 $\sin 2\theta_n$ の分布を持つことが明らかになり、センサ信号をフーリエ級数展開することによりオフセット分布を推定できることを示している。

この原理を用いオフセット電圧抑制の処理を行った結果を Fig. 3 に示す。軸の偏芯により、36 個のマルチセンサからの信号は、大きなオフセット電圧を含みキズ信号が認識されない (Fig. 3(a))。一方、(1)式に基づき周方向の信号処理を行い、オフセット電圧の抑制を行うと Fig. 3(b) のように明確にキズ信号が現れる。この結果から、深さ 0.3 mm のキズが検出できることが明らかに成った。

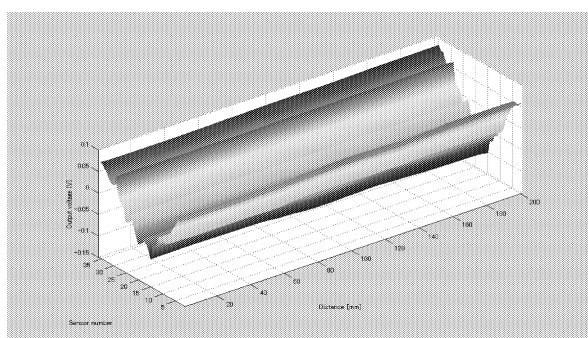
4. まとめ

本研究では丸棒状ステンレス鋼の熱間加工時におけるキズ検出を目的にマルチセンサ ECT プローブ

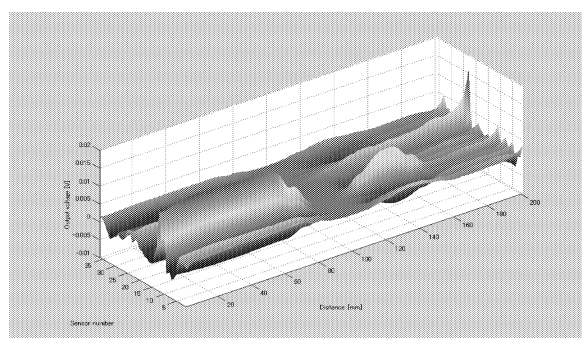
を実現したことを示した。丸棒状試験片においては、偏芯することによってセンサ感度方向と試験片の接線方向との相対的な角度が変化することでオフセット電圧が生ずるが、適切な信号処理を行うことにより、明確なキズ信号を得られることが明らかに成った。

参考文献

- 1) 山崎裕也，山田外史，岩原正吉：マルチ ECT プローブのステンレス鋼検査への応用，電気学会北陸支部大会，2006 年 9 月，金沢工業大学
- 2) 山田外史，GMR 素子を用いた渦流探傷法の微小キズ検出への適用，金沢大学共同研究報告書，2007.



(a) Before data processing



(b) After data processing

Fig. 2 Suppression of offset voltage based on the displacement of center